

第 I 部-第 3 章

3D プリンタによる立体模型出力

宮下明珠*

Creating Model Using 3D Printer

Mitsumi Miyashita *

3D printer can create precise model from the 3D scanning data. There is long way to edit 3D scanning data for 3D printer. However, it helps us to understand the shape of the church and the roughness of the wall surface. The 3D model of San Vito Vecchio Church was sixty times smaller than real size and it consists with nine parts. To create one part, it takes ten hours in average. This model was donated to Ettore Pomarici Foundation which is managed the San Vito Vecchio Church.

Key Words: 3D model, 3D printer, surface roughness

キーワード: 立体模型, 3D プリンタ, 表面凹凸

1. はじめに

1.1 アナログ・アーカイブとしての立体模型

近年、コンピュータに保存した設計図から、簡単な操作で立体模型を作り出せる 3D プリンタが数多く開発されてきている。こうした 3D プリンタの主要な使途としては、工業界では試作品の作製であろうか。ある製品を生産ラインに乗せる前に、構成するパーツごとに縮小モデルを出力し、デザインや機能の最終検討を行うのである。しばらく前までは最低価格帯でも数百万円と高価であったため、その導入は産業界にほぼ限られていたが、海外で数万円～数十万円台という低価格帯のものが発売され始めたため、最近では個人レベルや家庭レベルでの導入にも弾みがついてきたという。この 3D プリンタの魅力は、何といても、今までパソコンの画面上でしか見ることのできなかったものが実際に手に取って実感できること、それに 1cm²あたり 20 円という安価で試作できることであろう。[1]

本センターの調査プロジェクトは、南イタリアに点在する洞窟教会の診断調査結果をデジタル・アーカイブとして保存記録することを目的の 1 つとしているが、そのデジタル・アーカイブには、必要な時にはいつでも再現（復元）できるだけの詳細な情報が含まれている。しかし、パソコンの画面上で 3D データは、どのようなソフトを駆使しようが結局は擬似的な再現にとどまらざるを得ないのは仕方のないことである。とはいえ、フィールド調査で収集した 3D スキャンのデータを用いて、実際にどのくらいの精度で 3 次元モデルを再現（復元）することができるか、3D プリンタの現在の実力を知っておくことは絶対に必要なことであった。そこで、現地調査で取得した 3 次元ス

キャンニングデータを用いて、3D プリンタによる立体模型の作成テストに着手した。

1.2 3D プリンタの種類

3D プリンタの種類は、その造形方法によって 5 つのタイプに大別される。その方法を以下に示す[2][3][4]。

(1) 光造形法

液状の光硬化樹脂にレーザー光線や紫外線を 3 次元に走査入射し、層状に樹脂を硬化、積層してモデルを作る方法。

(2) 粉末法

プラスチック（樹脂）や金属の粉末などを原材料に、高出力のレーザー光線で層状に焼き固める方法。

(3) 熱溶解積層法（FDM 法）

加熱して溶かした樹脂を細いノズルの先から押し出し、樹脂を積み重ねながらつくる方法。

(4) シート積層法

シートを積層させ、形状を作る造形法。

(5) インクジェット法

液化した材料を噴射して積層させ、形状を作る造形法。インクジェットプリンターの原理を応用している。

本センターは、装置が小さく、汎用樹脂で操作が容易という観点から、熱溶解積層法の 3D プリンタを選択した。

1.3 3D プリンタの概要

本センターが使用している積層式 3D プリンタは UP! Plus で、主な仕様は Table2 の通り。

* フレスコ壁画研究センター

* Research Center of Italian Mural Paintings

Table 2 UP! Plus 3D プリンタの仕様

使用部材	ABS 樹脂
プリントエリア	140W x 140D x 135H mm
積層ピッチ	0.15/0.20/0.25/0.30/0.35/0.40 mm
寸法と重量	245W x 260D x 350H mm, 5 kg
電源	100-240V (50-60Hz) , 220W
使用可能な OS	Windows XP, Vista, 7 の 32 ビット版 (7 のみ 64 ビット可)
入力データ	STL フォーマット

2. 立体模型ができるまで

2.1 3D スキャンデータの処理

(1) スキャンしたデータの編集

3D レーザースキャナは、レーザーによる計測対象物とセンサの間をレーザーが往復する時間を計測することで距離を計測する。また同時に、レーザーを発射した方向を計測することで、計測対象点の3次元座標を取得するものである。したがって、取得したデータは点の集合（点群）である。Fig.1 は、昨年度に実施した南イタリア調査において 3D スキャンを行ったグラヴィーナ・イン・プーリアのサン・ヴィート・ヴェッキオ教会（元の場所）の点群データである。レーザーは計測対象物以外の草や木、計測時の湿度が高い場合には空気中の水蒸気にも反射して、3次元座標が記録されてしまう。Fig.2 は、3次元座標の取得と同時に撮影したカラー写真をもとに、各点に色を付けたものである。このようにすると、対象物と非対象物の区別が付きやすくなる。この表示方法で画面を拡大し、不要な点を少しずつ削除していく。この作業は実際に現地で計測した者の方が周囲の状況を把握しているため、（現地で計測に携わらなかった者に比べて格段に）必要な点と不要な点の判断が下しやすい。しかし、それでも取得した点の数に比例して、相応の（長く忍耐を要する）作業時間がかかる。より詳細な情報が必要な場合には、計測する点の間隔を狭くすることで多くの点の位置座標を取得できるが、その後に要する作業時間を考えながら計測する必要があるだろう。

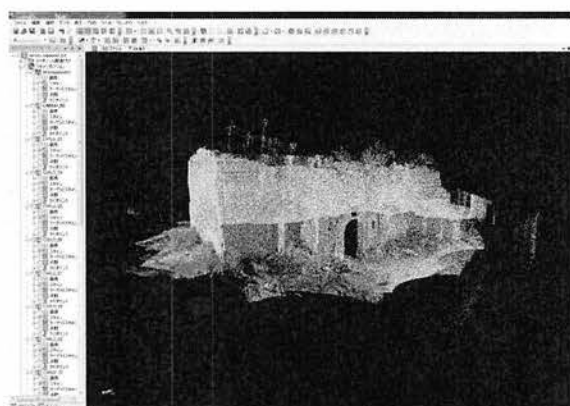


Fig.1 サン・ヴィート・ヴェッキオ教会(元の場所)の点群データ



Fig.2 色を付けた点群データ

(2) 点群データのメッシュ化

(1)の作業後、必要な点のみになったデータの、隣接する点を連結させて、三角形の面の集合体（メッシュ）を作る。ソフトウェアの中には、点群から自動でメッシュを構築する機能をもつものもあり、Range5 でスキャンしたような表面凹凸の場合は、ほとんどそのデータに修正を加える必要がない。しかし、内壁と外壁がある複雑な立体構造物の場合には、隣接する点の連結の仕方を間違えると、開いていなければならない空間が塞がってしまったり、実際とは異なる空間が生まれたりする。そこで、ソフトウェアによる自動メッシュ化の後、そのデータを確認し、実際の壁面を正しく再現できているかどうかを確認しなければならない。このようにしてできたのが、Fig.3 である。



Fig.3 サン・ヴィート・ヴェッキオ教会(元の場所)のメッシュデータ

(3) データの分割

本センターの使用する 3D プリンタは、最大で縦 14cm x 横 14cm x 高さ 13.5cm までのサイズしか作成することができない。そのため、それ以上大きなものを作りたいときには、全体を複数のパーツに分割して作成することになる。その後、すべてのパーツを組み合わせて統合するわけである。今回、このサン・ヴィート・ヴェッキオ教会の模型を作るにあたり、ある程度外壁の凹凸がわかること、パーツが多すぎて複雑にならないようにすることを条件とし、60 分の 1 の大ききで 9 つのパーツに分割して作成することにした。なお、パーツごとに分解した際、（外側と同じように再現された）教会内部も見えるように、その分割位置を調整した(Fig.4)。さらに、分割されたメッシュデータの境界を平面で埋めることで、ブロックの形状をしたパーツデータに仕上げることに成功した(Fig.5)。

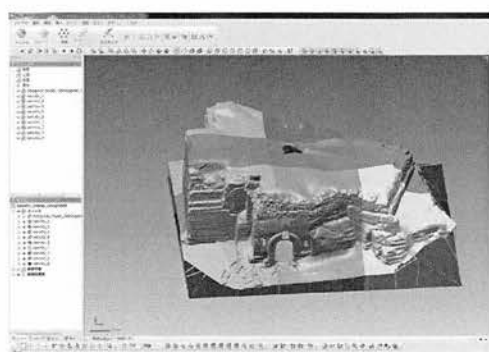


Fig. 4 9つに分割されたデータ

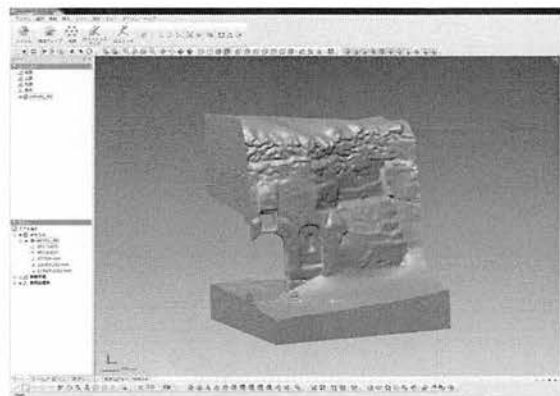


Fig. 5 ブロック形状にしたパーツデータ

2.2 模型作成

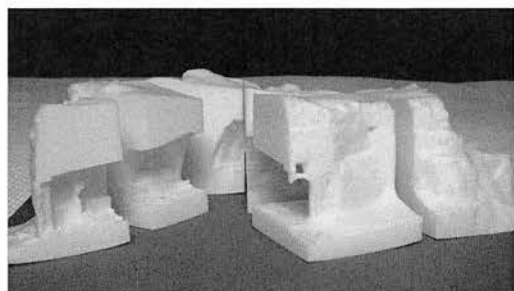


Fig. 6 完成した9つのパーツ

3Dプリンタに付属している専用ソフトを利用すると、パーツデータを読み込むだけで、画面上にその形状が表示される。パーツの向きや位置を調整することで、より効率的に作成することができる。この段階で、作成目的や時間からブロック内部の密度、精度、積層する樹脂の太さを設定する。Fig.5のパーツの作成では、密度をやや低くし、精度を最高に上げ、積層する樹脂の太さを最小にした結果、11.6時間を要した。結局、分割の仕方によってパーツの大きさが異なるものの、パーツ1つを作成するのに平均10時間、全体で9つのパーツであれば、機械的に計算しても合計所要時間は90時間ということになる。Fig.6は、まさに9つのパーツを組み合わせで作ったサン・ヴィート・

ヴェッキオ教会の60分の1サイズの模型である。(気球による空撮や現地報告会のため)グラヴィーナ・イン・プーリアを再訪した2012年9月6日、この模型を同教会の内壁に描かれていた壁画を移築保存しているボマリチ・サントーマジ財団博物館に寄贈した(Fig.7)。



Fig. 7 立体模型の寄贈

3. 進行中の研究開発

3.1 Range5による壁面凹凸データの模型作成

現在は、Range5で取得した壁面凹凸のデータについても、同様の方法で模型作成を行っている。ここでは原寸大でその凹凸を再現しようとしているが、データの方が積層ピッチよりも詳細なため、凹凸が少しつぶれてしまい、データと同等の精度で出力することはできなかった。このため、ソフトウェアで高さ(深さ)方向のみを3倍にし、あえて凹凸を強調した壁面を原寸大で再現してみた。それでも再現したい実際の壁画面の劣化によるひび割れや、絵筆のタッチ、微妙な陰影表現のために工夫されたと思われる刻線の鋭いエッジの再現は一筋縄ではいかない。今後は、作成した立体模型をRange5で計測し、作成した模型そのものの精度を正確に把握しながら、3Dプリンタによる模型作成の精度を「文化財保存のレベルで通用する程度」にまで高めていきたい。

3.2 模型底面の反り防止対策

立体模型を作成する際、底面がプレートの4隅から反り上がっていく現象が見られた。この問題をいろいろな視点から検討した結果、3Dプリンタの基盤に内蔵されているヒーターのサイズや形状が原因であることを突き止めた。3Dプリンタで樹脂が積層されるプレートの下にはヒーターが内蔵されているが、これはプレートに塗った接着剤をヒーターで柔らかくすることで樹脂がプレートに密着し、樹脂が積層されていく間も模型がプレートから離れないようにするために必要なものである。プレート全面に樹脂を積層させて(最大限に大きなサイズの)立体模型を作成しようとした場合、ヒーターは(プレート全面ではなく)中央部にあるので、プレートの周縁部から温度が下がっていき、中央部と周縁部とに温度差が生じてしまう。Fig.8は、赤外線サーモグラフィでヒーターの加熱を開始してから30分後に撮影したものである。プレート面全体では中心部が85.7度と最も高く、中心から離れるにしたがって温度は同心円状に低

下していくことがわかった。

結局、温度が下がるにつれて、接着剤の粘着力が弱くなり、中心部との温度差によって、底面が反り上がっていくのではないかという結論に達した。そこで、厚さ 1.5mm と薄く、100 度以上に加熱できるシリコンラバーヒーター(Fig.9)をプレートの下に設置することで、プレート全面の温度をできるだけ一律にする工夫をした。すでにプレートの中央部には(メーカーの固定した)ヒーターがあるので、4 隅の温度を上げるために、幅 2.5cm x 長さ 12.5cm のシリコンラバーヒーター2 本を Fig.10 のように固定した。また、プレートには温度センサを取り付け(Fig.11)、プレートの温度が常に 100 度で維持されるようにヒーターの電源をつないだ。その結果、Fig.12 のように中心温度が 89.7℃、4 隅が約 92℃とプレート全面をほぼ一律の温度に保つことができるようになった。しかし、実際に模型を作成してみると、以前より反り具合は小さくなったものの、完全に反りをなくして、底面を平らにするまでには至らなかった。今後は、不均一な温度の原因である可能性の高い内蔵のヒーターを使わず(電源 OFF)、シリコンラバーヒーターをプレート全面に敷くことで、プレートの温度を高温で維持できるように工夫してみるつもりである。

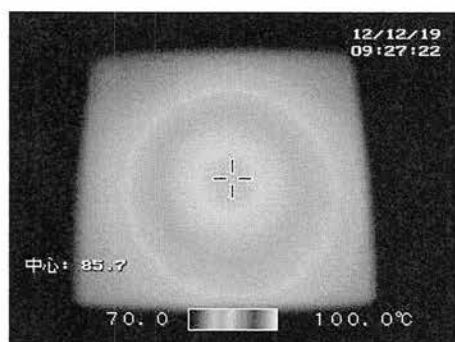


Fig. 8 プレートの温度分布
(内蔵ヒーターのみ)

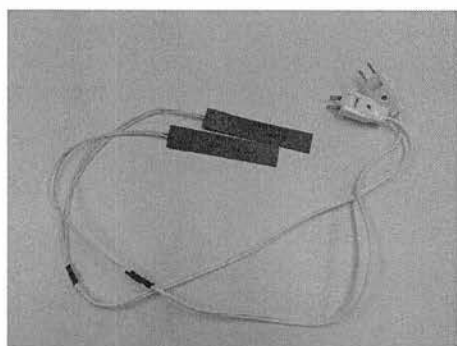


Fig. 9 シリコンラバーヒーター

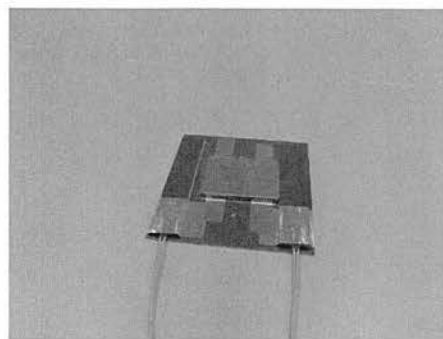


Fig. 10 ヒーターのを設置した台座

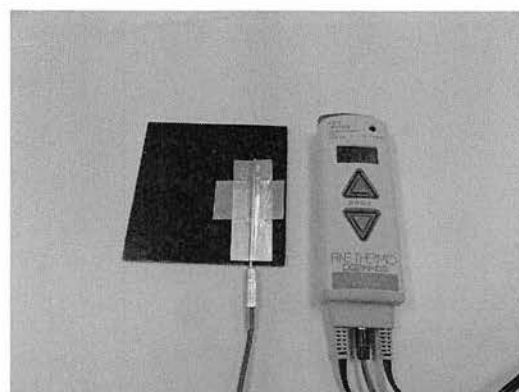


Fig. 11 プレートに固定した温度センサ

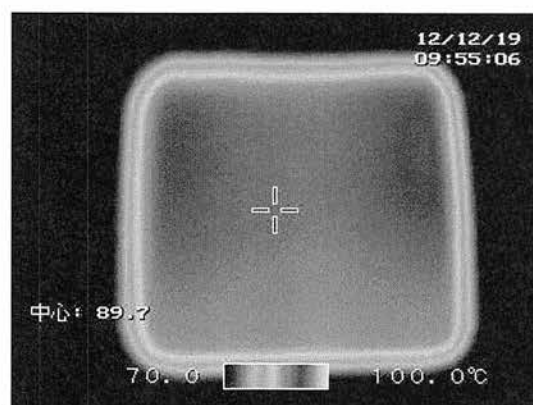


Fig. 12 プレートの温度分布
(左右にシリコンラバーヒーターを固定)

参考文献

- [1] [http://ja.wikipedia.org/wiki/3D プリンタ](http://ja.wikipedia.org/wiki/3D_プリンタ)
- [2] <http://www.ici-design.co.jp/service/RPmodel.html>
- [3] <http://www.thagiwara.jp/rp/yokohama-tech/yokohama-tech.html>
- [4] 朝日新聞 2013 年 1 月 28 日 17 面